

PAT-NO: JP02001077095A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001077095 A  
TITLE: PROCESSING DEVICE AND METHOD  
PUBN-DATE: March 23, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MORIMOTO, TAMOTSU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOKYO ELECTRON LTD	N/A

APPL-NO: JP11253734

APPL-DATE: September 8, 1999

INT-CL (IPC): H01L021/3065, H01L021/203 , H01L021/205

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a processing device and a method, where a work can be efficiently processed by protecting it against shading damage.

SOLUTION: A magnetron reactive ion etching device 1 is equipped with a unit composed of electrodes which are opposed to each other sandwiching a semiconductor device 3 between them, a high-frequency power supply 9 which generates an electronic field on the unit of electrodes, a dipole ring magnet 23, and a switching mechanism 25. The dipole ring magnet 23 forms two magnetic field states, one is that a magnetic field is possessed of a component that crosses the direction of an electric field at right angles or in parallel with the semiconductor device 3 and the other is that a magnetic field near to the

surface of the semiconductor device 3 is so set in intensity as to make a Larmor radius larger than an average free path of electron. By the switching mechanism 25 controlled by a control device 26, a first magnetic field state is switched to a second magnetic field state and vice versa on a prescribed timing.

COPYRIGHT: (C) 2001, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-77095

(P2001-77095A)

(43) 公開日 平成13年3月23日 (2001.3.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 L	21/3065	H 0 1 L 21/302	B 5 F 0 0 4
	21/203	21/203	S 5 F 0 4 5
	21/205	21/205	5 F 1 0 3

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-253734

(22) 出願日 平成11年9月8日 (1999.9.8)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 森本 保

山梨県韭崎町穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン株式会社内

(74) 代理人 100077850

弁理士 芦田 哲仁朗 (外1名)

Fターム(参考) 5F004 AA16 BA13 BB07 BB11 CA09

5F045 AA08 BB16 EH16 GB15

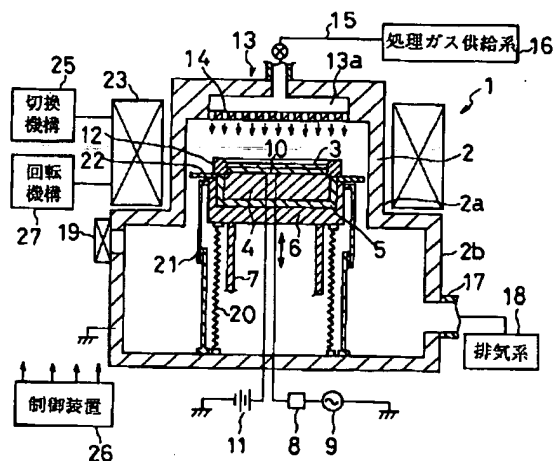
5F103 AA08 BB14 BB56 RR10

(54) 【発明の名称】 処理装置及び処理方法

(57) 【要約】

【課題】 被処理体のシェーディングダメージを抑えるとともに、効率的な処理を行うことができる処理装置及びその処理方法を提供する。

【解決手段】 マグネトロン反応性イオンエッチング装置1は、半導体装置3を挟んで対向する電極ユニットと、電極ユニットに電界を形成する高周波電源9と、ダイポールリング磁石23と、切換機構25とを備えている。ダイポールリング磁石23は、電界方向と直交する成分を持つ又は半導体装置3と平行な磁場を形成する第1磁場状態と、半導体装置3の表面近傍の磁場強度が電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような磁場となる第2磁場状態との2つの磁場状態を形成する。そして、制御装置26に制御された切換機構25により所定のタイミングで第1磁場状態と第2磁場状態とを切り換える。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】処理容器と、

前記処理容器内に配置され、被処理体を挟んで対向する第1電極と第2電極とから構成された電極ユニットと、前記処理容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、

前記処理容器内のガスを排気するガス排気手段と、

前記電極ユニットに高周波電力を供給し、前記第1電極と前記第2電極との間に電界を形成する電界形成手段と、

前記電極ユニットに前記電界方向と直交する成分を持つ又は前記被処理体と平行な磁場を形成する第1磁場状態と、前記被処理体の表面近傍の磁場強度が電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような磁場となる第2磁場状態との2つの磁場状態を形成する磁場形成手段と、

前記第1磁場状態と前記第2磁場状態とを切り換える磁場状態切換手段とを備えることを特徴とする処理装置。

【請求項2】前記第2磁場状態を前記電界方向と直交する成分を持つ又は前記被処理体と平行な磁場に形成する、ことを特徴とする請求項1に記載の処理装置。

【請求項3】前記処理ガスには反応性イオン種を有するガスが用いられ、前記被処理体にマグネトロン反応性イオン処理を行う、ことを特徴とする請求項1又は2に記載の処理装置。

【請求項4】前記磁場状態切換手段は、前記第1磁場状態と前記第2磁場状態とを所定のタイミングで切り換える切換制御機構を備える、ことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の処理装置。

【請求項5】前記第1磁場状態及び前記第2磁場状態で、前記被処理体上に均一な磁場が形成される、ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の処理装置。

【請求項6】前記磁場形成手段は、前記電極ユニットを挟むように配置された複数の電磁石から構成され、前記磁場状態切換手段は、前記電磁石に流す電流の量を第1電流量と第2電流量との2段階に切換可能に構成され、前記電磁石に前記第1電流量の電流を流して前記第1磁場状態を形成し、前記電磁石に前記第2電流量の電流を流して前記第2磁場状態を形成する、ことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の処理装置。

【請求項7】前記磁場形成手段は、前記電極ユニットを挟むように配置された複数の永久磁石から構成され、前記磁場状態切換手段は、前記複数の永久磁石をダイポール状態に配置して前記第1磁場状態を形成し、前記複数の永久磁石の磁極の向きを変化して前記第2磁場状態を形成する、ことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の処理装置。

【請求項8】処理容器内に配置された一対の電極から構成された電極ユニット間に被処理体を配置する被処理体

載置工程と、

前記処理容器内を所定の圧力に減圧する減圧工程と、

前記処理容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給工程と、

前記電極ユニットに高周波電力を供給し、両電極間に電界を形成する電界形成工程と、

前記電極ユニットに前記電界方向と直交する成分を持つ又は前記被処理体と平行な第1磁場状態を形成する磁場形成工程と、

10 前記第1磁場状態から、前記被処理体の表面近傍の磁場強度が電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような第2磁場状態に切り換える磁場状態切換工程とを備えることを特徴とする処理方法。

【請求項9】前記第2磁場状態を前記電界方向と直交する成分を持つ又は前記被処理体と平行な磁場に形成する、ことを特徴とする請求項8に記載の処理方法。

【請求項10】前記処理ガスには反応性イオン種を有するガスが用いられ、前記被処理体にマグネトロン反応性イオン処理を行う、ことを特徴とする請求項8又は9に記載の処理方法。

【請求項11】前記磁場状態切換工程は、前記第2磁場状態に所定のタイミングで切り換える、ことを特徴とする請求項8乃至10のいずれか1項に記載の処理方法。

【請求項12】前記第1磁場状態及び前記第2磁場状態では前記被処理体上に均一な磁場が形成される、ことを特徴とする請求項8乃至11のいずれか1項に記載の処理方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、処理装置及びその処理方法に関し、特に被処理体のシェーディングダメージを抑えることができる処理装置及びその処理方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】反応性イオンエッチング装置には、マグネトロンからの磁場を利用して効率的にエッチング処理を行うマグネトロン反応性イオンエッチング装置がある。

【0003】マグネトロン反応性イオンエッチング装置は、まず処理容器内に配置された一対の電極に高周波電力を供給して電界を形成し、エッチングガスの放電を誘起して電極上に載置された被処理体、例えば半導体ウエハの表面近傍にプラズマを形成させる。次に、磁場形成手段、例えば永久磁石により磁場を半導体ウエハに対して水平方向に形成させる。これにより、電子にサイクロトロン運動(らせん運動)を起こさせて、電子と中性粒子との衝突する頻度を高くする。これら電子と中性粒子との衝突により、半導体ウエハの表面近傍での反応性ガスのイオン化が促進される。そして、このイオンが半導体ウエハの処理面に入射され、イオンによるスパッタ作

用と化学反応の両方の効果でエッチングが効率的に進行する。

【0004】このようなマグネトロン反応性イオンエッチング装置では、半導体ウエハに対して水平方向に均一な磁場を形成することが大切になる。これは、水平方向に均一な磁場を形成できないと、半導体ウエハに対するエッチング速度の面内ばらつきが生じるからである。図7に、マグネトロン反応性イオンエッチング装置に用いられるダイポールリング磁石を示す。

【0005】図7に示すように、ダイポールリング磁石101は、リング状に形成されたダイポールリング本体102に複数の異方性セグメント柱状磁石103を等間隔に配置した構造に形成されている。異方性セグメント柱状磁石103は、全体として一様な水平磁場を形成するように、磁化の方向が徐々にずれるように配置されている。このダイポールリング磁石101は処理容器104の外側に配置されており、磁場Bは半導体ウエハ105に対して水平方向に形成される。

【0006】また、ダイポールリング磁石101はその周方向に沿って回転できるように構造に形成されている。そして、このダイポールリング磁石101を回転させることにより、半導体ウエハ105に対して水平な方向に均一な回転磁場が形成され、半導体ウエハ105上のプラズマ密度が均一になる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、磁場強度が大きいマグネトロン反応性イオンエッチングでは、例えばオーバエッチング時にシェーディングダメージが入りやすいという問題がある。このシェーディングダメージを説明するため、図8にオーバエッチング時のトランジスタの模式図を示す。

【0008】図8に示すように、トランジスタ111は、半導体ウエハ112上にゲート絶縁膜113、及びゲート電極114が形成されたMOS型のトランジスタである。ゲート酸化膜113及びゲート電極114が形成されていない半導体ウエハ112上には第1層間絶縁膜115が形成され、第1層間絶縁膜115及びゲート電極114上には金属配線116が形成されている。金属配線116上には第2層間絶縁膜117が成膜され、第2層間絶縁膜117上にレジスト118が配置されている。そして、マグネトロン反応性イオンエッチングにより、レジスト118によってマスクされていない部分の第2層間絶縁膜117がエッチングされて、穴119が形成されている。

【0009】マグネトロン反応性イオンエッチングの間、電子は磁場による拘束（サイクロトロン運動による拘束）を受けており、電子が穴119方向に向かう速度（図8の上から下に向かう速度）が遅くなって、穴119内に入りにくくなる。一方、正の電荷を帯びたイオン（陽イオン）は、電子に比べて、その質量が重いこと等

の理由により、磁場による拘束を受けにくい。このため、陽イオンの穴119方向に向かう速度は電子の速度より速く、穴119内に入りやすくなる。従って、図8に示すように、オーバエッチング時に陽イオン120が穴119の底にチャージアップされやすく、電子120がレジスト118上にチャージアップされやすくなる。この結果、電位の差が生じ、ゲート絶縁膜113を通る矢印122で示すような電流が流れ、ゲート絶縁膜113が破壊されるシェーディングダメージを生じやすい。

【0010】このような絶縁膜の劣化を防止する方法として、特開平5-308055号公報には、ゲート電極に接続された金属配線をパターニングするのに際し、有磁場高密度プラズマエッチングを行い、パターンが完全に分離する前に、無磁場低密度プラズマエッチングに切り換えてパターニングを行うことにより、ゲート酸化膜の劣化を招くことなくゲート電極配線が形成できるとの提案がなされている。

【0011】この提案のように、有磁場高密度プラズマエッチングから無磁場低密度プラズマエッチングに切り換えれば、電子が磁場の拘束を受けることがなくなり、シェーディングダメージのような絶縁膜の劣化を抑えることは可能である。しかしながら、有磁場高密度プラズマエッチングから無磁場低密度プラズマエッチングに切り換えるとエッチング速度が大きく減速する。このため、エッチング処理が終了する直前まで有磁場高密度プラズマエッチングを行わないと、効率的にエッチング処理を行うというマグネトロン反応性イオンエッチング本来の意義が失われてしまう。

【0012】一方、エッチング処理が終了する直前まで有磁場高密度プラズマエッチングを行うと、エッチングされた穴の一部からゲート酸化膜が露出してしまうおそれがある。そして、このゲート酸化膜の露出によって、半導体ウエハ上の電子が偏在して、チャージアップダメージが生じるという新たな問題が発生してしまう。

【0013】本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、被処理体のシェーディングダメージを抑えるとともに、効率的な処理を行うことができる処理装置及びその処理方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明の第1の観点にかかる処理装置は、処理容器と、前記処理容器内に配置され、被処理体を挟んで対向する第1電極と第2電極とから構成された電極ユニットと、前記処理容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、前記処理容器内のガスを排気するガス排気手段と、前記電極ユニットに高周波電力を供給し、前記第1電極と前記第2電極との間に電界を形成する電界形成手段と、前記電極ユニットに前記電界方向と直交する成分を持つ又は前記被処理体と平行な磁場を形成する第1磁場状態と、前記被処理体の表面近傍の磁場強度が電子

の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような磁場となる第2磁場状態との2つの磁場状態を形成する磁場形成手段と、前記第1磁場状態と前記第2磁場状態とを切り換える磁場状態切換手段とを備えることを特徴とする。

【0015】この構成では、効率的に処理を行いたい段階では、磁場状態切換手段で第1磁場状態に切り換えて効率的な処理が行われる。また、シェーディングダメージが発生しやすい段階では、磁場状態切換手段で第2磁場状態に切り換えて処理が行われる。この第2磁場状態では、電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような磁場が存在することから、処理速度は大きく減速されない。また、電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きく、磁場を横切るように拡散する電子の割合が多くなり、この電子が処理面の穴の底に進入しやすくなる。このため、被処理体のシェーディングダメージを抑えることができる。

【0016】第2磁場状態を電界方向と直交する成分を持つ又は前記被処理体と平行な磁場に形成すると、処理速度が減速しにくくなり、効率的な処理を行うことができる。処理ガスに反応性イオン種を有するガスを用い、被処理体にマグネトロン反応性イオン処理を行うと、イオンによるスパッタ作用と化学反応の両方の効果で処理が効率的に進行する。

【0017】磁場状態切換手段に第1磁場状態と第2磁場状態とを所定のタイミングで切り換える切換制御機構を備えると、磁場状態が自動的に切り換えられる。第1磁場状態及び第2磁場状態で被処理体上に均一な磁場が形成されると、被処理体に水平な方向に均一な回転磁場が形成され、被処理体のプラズマ密度が均一になる。

【0018】磁場形成手段は電極ユニットを挟むように配置された複数の電磁石から構成され、磁場状態切換手段は電磁石に流す電流の量を第1電流量と第2電流量との2段階に切換可能に構成され、電磁石に第1電流量の電流を流して第1磁場状態を形成し、電磁石に前記第2電流量の電流を流して第2磁場状態を形成すると、電流の量を第1電流量から第2電流量に切り換えることにより、第1磁場状態から第2磁場状態に磁場状態が切り換えられる。

【0019】磁場形成手段は、電極ユニットを挟むように配置された複数の永久磁石から構成され、磁場状態切換手段は、複数の永久磁石をダイボール状態に配置して第1磁場状態を形成し、複数の永久磁石の磁極の向きを変化して前記第2磁場状態を形成すると、第1磁場状態時に大きな磁場を形成することができ、効率的に処理が行われる。

【0020】この発明の第2の観点にかかる処理方法は、処理容器内に配置された一対の電極から構成された電極ユニット間に被処理体を配置する被処理体載置工程と、前記処理容器内を所定の圧力に減圧する減圧工程

と、前記処理容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給工程と、前記電極ユニットに高周波電力を供給し、両電極間に電界を形成する電界形成工程と、前記電極ユニットに前記電界方向と直交する成分を持つ又は前記被処理体と平行な第1磁場状態を形成する磁場形成工程と、前記第1磁場状態から、前記被処理体の表面近傍の磁場強度が電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような第2磁場状態に切り換える磁場状態切換工程とを備えることを特徴とする。

10 【0021】この構成では、効率的に処理を行いたい段階では、第1磁場状態を形成して処理が行われる。また、シェーディングダメージが発生しやすい段階では、磁場状態切換工程で第2磁場状態に切り換えて処理が行われる。この第2磁場状態では、電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような磁場が存在することから、処理速度は大きく減速されない。また、処理ガスから発生した電子の平均自由行程よりそのラーマ半径が大きく、磁場を横切るように拡散する電子の割合が多くなり、この電子が処理面の穴の底に進入しやすくなる。このため、被処理体のシェーディングダメージを抑えることができる。

20 【0022】第2磁場状態を電界方向と直交する成分を持つ又は前記被処理体と平行な磁場に形成すると、処理速度が減速しにくくなり、効率的な処理を行うことができる。処理ガスに反応性イオン種を有するガスを用い、被処理体にマグネトロン反応性イオン処理を行うと、イオンによるスパッタ作用と化学反応の両方の効果で処理が効率的に進行する。

30 【0023】磁場状態切換工程により、第2磁場状態に所定のタイミングで切り換えると、磁場状態が自動的に切り換えられる。第1磁場状態及び第2磁場状態で被処理体上に均一な磁場が形成されると、被処理体に水平な方向に均一な回転磁場が形成され、被処理体のプラズマ密度が均一になる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図1～図4に従って説明する。図1は本実施の形態のマグネトロン反応性イオンエッチング装置の断面図を示したものである。

40 【0025】図1に示すように、マグネトロン反応性イオンエッチング装置1は、エッチング処理を行う処理容器2と、処理容器2内に磁場を形成するダイボールリング磁石23とを備えている。

【0026】処理容器2は2段の略円筒状に形成され、半導体装置3のエッチング処理を行う小径の上部2aと、半導体装置3を処理容器2内に搬入又は搬出する大径の下部2bとで構成されている。この処理容器2は、金属、例えばアルミニウムで形成されている。

50 【0027】処理容器2内には、半導体装置3を載置する載置台4が配置されている。載置台4は、金属、例え

ばアルミニウムで形成され、第1電極として機能する。この載置台4は、絶縁板5を介して導体の支持台6に支持されている。この支持台6はボールねじ7を有するボールねじ機構により昇降可能に構成され、この支持台6を昇降させることにより、載置台4（半導体装置3）が所定の高さに配置される。

【0028】載置台4には、ブロッキングコンデンサ8を介して、高周波電源9が接続されている。高周波電源9は、例えば13.56MHzの高周波電力を載置台4に供給し、ブロッキングコンデンサ8の作用により、載置台4は負の電位に自己バイアスされる。

【0029】載置台4の上面には、半導体装置3を静電吸着するための静電チャック10が設けられている。静電チャック10は、絶縁体の間に電極が介在した構造に形成されており、電極は直流電源11に接続されている。そして、直流電源11から電極に電圧が印加されることにより、半導体装置3（半導体ウエハ）がクーロン力によって吸着され、載置台4上に載置される。

【0030】載置台4の上方の外周（載置台4に半導体装置3が載置された状態での半導体装置3の周囲）には、プラズマ密度を半導体装置3の処理面に集中させるためのフォーカスリング12が設けられている。フォーカスリング12は、導電性材料、例えば単結晶シリコンで形成されている。

【0031】載置台4の内部には図示しない冷媒流路が設けられ、この冷媒流路内に所定の温度の冷媒を循環させることによって、半導体装置3を所定の温度に制御できる構造になっている。

【0032】処理容器2の上部2aには、載置台4に対向するようにシャワーヘッド13が設けられている。このシャワーヘッド13は第2電極として機能し、シャワーヘッド13と載置台4とが一对の電極として電極ユニットを構成する。

【0033】シャワーヘッド13は、その内部に中空部13aを有する中空構造に形成されている。シャワーヘッド13の下部には、中空部13aと処理容器2内とを連通させる多数のガス噴出孔14が設けられている。また、シャワーヘッド13の上部には、中空部13a（処理容器2）内にエッチングガスを供給するガス供給管15が接続されている。このガス供給管15には、反応ガス、例えばハロゲン系の反応性イオン種を有するガス、及び希釈ガス、例えばAr、He等のガスを供給する処理ガス供給系16が接続されている。そして、処理ガス供給系16から供給されたエッチングガスがガス供給管15、シャワーヘッド13の中空部13a、ガス噴出孔14を介して半導体装置3の処理面に均一に噴出される。

【0034】処理容器2の下部2bの下部側壁には排気孔17が形成され、排気孔17には排気系18が接続されている。排気系18は真空ポンプ等から構成されてい

る。この真空ポンプの作動により、処理容器2内が所定の圧力（真空度）まで減圧される。また、処理容器2の下部2bの上部側壁には、半導体装置3の搬入出口を開閉するゲートバルブ19が設けられている。

【0035】支持台6の下端には伸縮可能に構成されたベローズ20の一端が気密に接続され、この他端は処理容器2の底面に気密に接続されている。このベローズ20はステンレス鋼（SUS）で形成されている。また、ベローズ20の外部にはベローズカバー21が設けられている。

【0036】また、フォーカスリング12の外側にはバッフル板22が設けられている。このバッフル板22には処理ガスを処理容器2の下部2b方向に流動させるための複数の孔が設けられている。このバッフル板22は支持台6、ベローズ20を通じて処理容器2と導通している。

【0037】処理容器2の上部2aの周囲には、載置台4とシャワーヘッド13との間の空間（以下、処理空間という）を挟むように、ダイポールリング磁石23が配置されている。図2にダイポールリング磁石23付近の水平断面図を示す。

【0038】図2に示すように、ダイポールリング磁石23は複数のセグメント磁石24を備えている。セグメント磁石24は図示しない支持部材により支持された状態でリング状に配置されている。本実施の形態では16個のセグメント磁石24がリング状に配置され、セグメント磁石24に鉄芯とコイルとから構成された電磁石が用いられている。

【0039】ダイポールリング磁石23には、各セグメント磁石24に電流を流して磁場を形成させる切換機構25が接続されている。切換機構25は、各セグメント磁石24に流す電流の量を第1電流量と、第1電流量より電流の量が少ない第2電流量との2段階に切換可能に構成されている。そして、各セグメント磁石24に第1電流量の電流が流れると、処理空間に全体として一方向に向かう磁場を形成する第1磁場状態が形成される。また、各セグメント磁石24に第2電流量の電流が流れると、処理空間に全体として一方向に向かう第1磁場状態より磁場強度の弱い磁場であって、半導体装置3の表面近傍の磁場強度が電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような磁場となる第2磁場状態が形成される。

【0040】切換機構25がセグメント磁石24のコイルに供給する電流を切り換えるタイミングは、マイクロプロセッサ等から構成された制御装置26により制御されている。制御装置26の内部メモリには、各処理条件での第1磁場状態から第2磁場状態への最適な切り換え時間が予め登録されている。この切り換え時間は、エッチング処理の対象物の下層に形成された下地層が1ヶ所も露出することなく、対象物を最も薄くすることができ

る時間をいう。なお、切り換え時間は、種々のエッチング条件による実験結果を基にして定められている。制御装置26はエッチング処理を開始すると、内部タイマにより処理時間を計測し、切り換え時間に到達したと判別すると、切換機構25にコイルに供給する電流を第2電流量に切り換える旨の切換指示を出力する。

【0041】また、ダイボールリング磁石23には、ダイボールリング磁石23をその周方向に沿って回転させる回転機構27が接続されている。そして、第1磁場状態又は第2磁場状態が形成された状態で、回転機構27によりダイボールリング磁石23を回転すると、半導体装置3に水平な方向に均一な回転磁場が形成される。

【0042】次に、以上のように構成されたマグネトロン反応性イオンエッチング装置1を用いたマグネトロン反応性イオンエッチング方法について説明する。なお、以下に説明する各工程は制御装置26によって制御されており、制御装置26によって実行される。

【0043】まず、ボールねじ7を有するボールねじ機構により載置台4を下降させた状態でゲートバルブ19を開いて、図示しない搬送手段により半導体装置3を処理容器2内の載置台4上に搬送する。次に、載置台4をボールねじ7を有するボールねじ機構により、図1に示す状態まで上昇させる。そして、直流電源11から静電チャック10の電極に所定の電圧を印加し、半導体装置3をクーロン力により吸着させ、載置台4上に載置する（被処理体載置工程）。

【0044】次に、ゲートバルブ19を閉じて処理容器2を密閉し、排気系18の真空ポンプにより排気孔17を介して処理容器2内を所定の圧力（真空度）になるまで減圧する（減圧工程）。そして、処理ガス供給系16からエッチングガスをガス供給管15、シャワーヘッド13、ガス噴出孔14を介して半導体装置3の処理面に均一に噴出し、処理容器2内を所定の圧力、例えば45 mTorrに保持する（処理ガス供給工程）。

【0045】半導体装置3の処理面にエッチングガスが供給されると、高周波電源9から載置台4に周波数が例えば13.56 MHz、パワーが例えば1500 Wの高周波電力を供給する。すると、ブロッキングコンデンサ8の作用により、載置台4は負の電位に自己バイアスされ、シャワーヘッド13から載置台4方向に向かう電界が形成される（電界形成工程）。この電界により、エッチングガスの放電が誘起され、載置台4上に載置された半導体装置3の表面近傍にプラズマが形成される。さらに、このプラズマがフォーカスリング12により、半導体装置3の表面近傍に集中する。

【0046】半導体装置3の表面近傍にプラズマが形成されると、切換機構25を介してセグメント磁石24に第1電流量の電流を流す。そして、ダイボールリング磁石23により処理空間に全体として一方向に向かう均一磁場（第1磁場状態）を形成するとともに、回転機構2

7を介してダイボールリング磁石23を回転させ、半導体装置3に水平な方向に均一な回転磁場を形成する（磁場形成工程）。

【0047】半導体装置3に水平な方向に磁場が形成されると、処理空間内の電子がサイクロトロン運動を起こし、この電子と中性粒子とが衝突する頻度が高くなる。これら電子と中性粒子との衝突により、半導体装置3の表面近傍でのエッチングガスのイオン化が促進される。この結果、半導体装置3にイオンが入射され、このイオンによるスパッタ作用と化学反応の両方の効果でエッチングが効率的に進行する。

【0048】エッチングが進行して、第1磁場状態から第2磁場状態への最適な切り換え時間になると、切換機構25を介して各セグメント磁石24に流す電流を第2電流量に切り換える。これにより、半導体装置3の表面近傍の磁場強度が、エッチングガスから発生した電子の平均自由行程より、そのラーマ半径が大きくなる程度の弱い均一な回転磁場からなる第2磁場状態を形成する（磁場状態切換工程）。

【0049】ここで、電子の平均自由行程とラーマ半径との関係について説明する。ラーマ半径は磁場強度に反比例することから、磁場強度が弱くなるとラーマ半径は大きくなる。磁場強度が弱くなり平均自由行程よりラーマ半径が大きくなると、電子は十分に回転することができず、サイクロトロン運動（磁場）からの拘束を受けない電子の割合が多くなる。このため、電子が半導体装置3の処理面（エッチング処理により形成された穴の底）に進入しやすくなる。このため、電子は半導体装置3の処理面に到達し、半導体装置3の面内での電位の不均一（電位の差）が生じなくなる。従って、オーバエッチング時などに発生しやすい絶縁膜を破壊するシェーディングダメージを抑えることができる。

【0050】このことは、電子の磁場を横切る拡散の式によって説明することができる。電界に沿って移動する電子に対して垂直方向からの磁場が形成されると、電子は磁場に拘束されてサイクロトロン運動を起こすが、この磁場からの拘束を受けずに磁場を横切って処理面に進行（拡散）すればシェーディングダメージは生じにくくなる。この電子の磁場を横切る拡散Dは、以下の式で表される。

$$D = D_0 / (1 + (\lambda m / r)^2)$$

ここでD<sub>0</sub>は拡散係数、λmは電子の平均自由行程、rはラーマ半径である。この式から、λm/rが小さいほど電子の磁場を横切る拡散が大きくなる。特に、λm/rの2乗であることから、平均自由行程よりラーマ半径が大きくなると、拡散Dは拡散係数に近づくように大きくなり、電子が磁場からの拘束を受けずに処理面に進行しやすくなる。

【0051】一方、第2磁場状態であっても弱い磁場が存在することから、処理空間内の電子の一部がサイクロ

11

トロン運動を起こし、この電子と中性粒子とが衝突して、半導体装置3の表面近傍でのエッチングガスのイオン化が促進される。このため、エッチング速度は大きく減速されない。

【0052】エッチング処理が終了すると、処理ガス供給系16からのエッチングガスの供給を停止させる。次に、ボールねじ7を有するボールねじ機構により載置台4を下降させ、直流電源11からの静電チャック10への電圧の印加を解除する。最後に、ゲートバルブ19を開き、図示しない搬送手段により半導体装置3を処理容器2の外に移動させる。

【0053】本実施の形態の効果を確認するため、図3に示すようなアンテナMOSを用いてマグネトロン反応性イオンエッチングを行った。なお、アンテナMOSは半導体ウエハ(8インチ)上に112個形成されており、図3はこの内の1つを模式図で示したものである。

【0054】図3に示すように、アンテナMOS31は、半導体ウエハ32、ゲート酸化膜33、第1絶縁膜34、電極膜35、及び第2絶縁膜36から構成されている。半導体ウエハ32上にはゲート酸化膜33が配置され、半導体ウエハ32上のゲート酸化膜33が配置されていない部分には第1絶縁膜34が形成されている。ゲート酸化膜33及び第1絶縁膜34の上には電極膜35が形成されている。電極膜35上には、電極膜35を覆うように第2絶縁膜36が形成されている。また、第2絶縁膜36には電極膜35に達する複数の穴37が形成されている。以上の構造のアンテナMOS31にエッチング処理を行った。そして、このエッチングによって、ゲート酸化膜33が絶縁破壊を起こしているか否かについて、測定を行った。

【0055】この測定は、図4に示すように、エッチング処理によってゲート酸化膜33が通電するか否かを、半導体ウエハ32上の全112個について行った。この結果、ゲート酸化膜33が破壊されているのはわずか5個であった。比較のために、従来のマグネトロン反応性イオンエッチング装置でエッチング処理(第1磁場状態のみでエッチング処理)したものについても同様の測定を行うと、ゲート酸化膜が破壊されているのは55個であった。このように本実施の形態のマグネトロン反応性イオンエッチング装置1を用いてエッチング処理を行うと、ゲート酸化膜33の破壊を従来の1/10以下に減少させることができ、シェーディングダメージを抑えることができること実験からも確認できた。

【0056】以上説明したように、本実施の形態によれば、第1磁場状態と第2磁場状態とを最適な時間で切り換えてエッチング処理を行っているので、オーバエッチング時などに発生しやすいシェーディングダメージを抑えることができるとともに、効率的なエッチング処理を行うことができる。

【0057】なお、本発明は上記実施の形態に限定され

12

るものではなく、例えばセグメント磁石24に永久磁石を用いてもよい。例えば図5(a)に示すように、セグメント磁石24の磁極の向きをダイポール状態に配置して第1磁場状態を形成するとともに、セグメント磁石24の磁極の向きを変化させて第2磁場状態を形成する。この場合、第1磁場状態時に大きな磁場を形成することができ、さらに効率的な処理を行うことができる。

【0058】第2磁場状態は、被処理体の表面近傍の磁場強度が電子の平均自由行程よりラーマ半径が大きくなるような磁場であればよく、実質的に無磁場な状態であってもよい。この場合、図5(b)に示すように、セグメント磁石24の磁極の向きをマルチポール状態に配置すると第2磁場状態を形成させることができる。

【0059】また、図6に示すように、処理容器2の上部2aの周囲にダイポールリング磁石23を上下方向に2段設けた構造にしてもよい。なお、図6は理解を容易にするために、ダイポールリング磁石23のうち、2組のセグメント磁石24のみを側面から図示した模式図である。この場合、図6(a)のダイポール状態の第1磁場状態から、下段のセグメント磁石24の磁極の向きを切り換えると、図6(b)のように、磁力線が上段から下段に向かう実質的に無磁場な第2磁場状態を形成させることができる。

【0060】処理容器2とダイポールリング磁石23との間を出没可能な電磁波シールドを配置した構造であってもよい。この場合、電磁波シールドを処理容器2とダイポールリング磁石23との間から取り出すと第1磁場状態を形成し、電磁波シールドを処理容器2とダイポールリング磁石23との間に挿入すると第2磁場状態を形成する。

【0061】本実施の形態では、マグネトロン反応性イオンエッチング装置について説明したが、これに限らず、例えばマグネトロン反応性イオンCVD装置、マグネトロン反応性イオンスパッタリング装置、マグネトロンプラズマエッチング装置、マグネトロンプラズマCVD装置、マグネトロンプラズマスパッタリング装置等にも適用することができる。

【0062】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、被処理体のシェーディングダメージを抑えるとともに、効率的な処理を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態のマグネトロン反応性イオンエッチング装置を示す断面図である。

【図2】本発明の実施の形態のダイポールリング磁石を示す断面図である。

【図3】本発明の実施の形態のアンテナMOSを示す模式図である。

【図4】本発明の実施の形態のアンテナMOSのシェーディングダメージを測定する状態を示す模式図である。

【図5】(a)は別の実施の形態の第1磁場状態でのダイポールリング磁石の模式図であり、(b)は同じく第2磁場状態でのダイポールリング磁石の模式図である。

【図6】(a)は別の実施の形態の第1磁場状態でのダイポールリング磁石の模式図であり、(b)は同じく第2磁場状態でのダイポールリング磁石の模式図である。

【図7】従来のダイポールリング磁石を示す模式図である。

【図8】シェーディングダメージを説明するための模式図である。

【符号の説明】

1 マグネトロン反応性イオンエッチング装置

2 処理容器

3 半導体装置

4 載置台

9 高周波電源

13 シャワーヘッド

16 ガス供給系

18 排気系

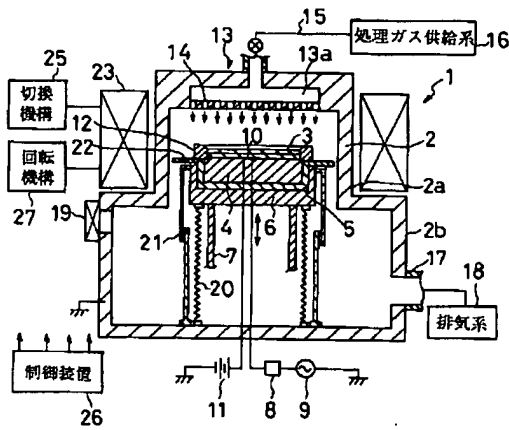
23 ダイポールリング磁石

24 セグメント磁石

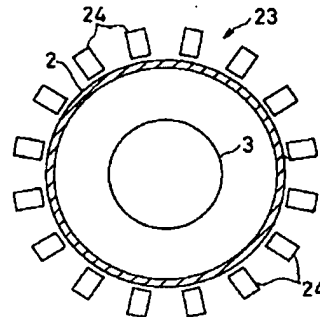
10 25 切換機構

26 制御装置

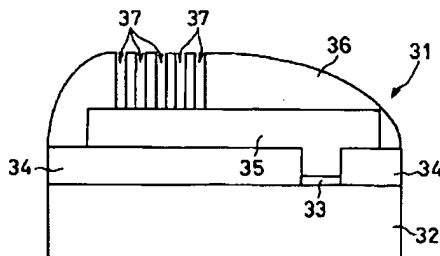
【図1】



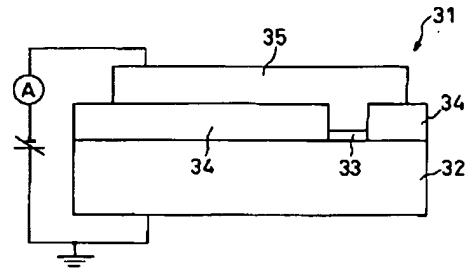
【図2】



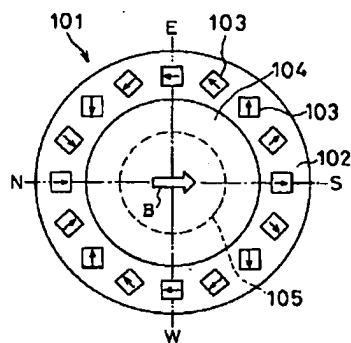
【図3】



【図4】



【図7】



【図8】

